TP7709E

PROPANE/DIESEL INJECTION SYSTEM

FOR DIESEL TRUCK ENGINES

SUMMARY REPORT

Prepared for the

TRANSPORTATION DEVELOPMENT CENTRE

by

F.W. EYRE AND P. NIKOLAICZUK

TECHNICAL DEVELOPMENT DEPARTMENT

SNC INC.

Library and Information Centre / Centre de documentation
MAR 12 1987
Transport Canada / Transports Canada

MARCH 1986

CA1
DTC 801
86
P62S
c.2

SNC Ref. 7325

88-00345/

The contents of this report reflect the views of the contractor and not necessarily the official views or policies of the Transport Canada Research and Development Centre.

Ce document est également disponible en français "Système d'injection propane/diesel pour moteur de camion diesel" TP7709F.

PROJECT TEAM

The project team involved in this test program was composed of the following personnel:

SNC Inc.	F.W. Eyre
	P. Nikolaiczuk
University of Toronto	J.F. Keffer
	J.S. Wallace
	L. Segal
	U. Oester
IVI Inc.	J.P. Drolet
	S. Roy
	M. St-Laurent
Southwest Research Institute	R. Thring
	R. Phatak
Stanadyne Inc.	B. Wysong
	L. Tolan

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 7709E	6118	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Propane/Diesel Injection System for Diesel Truck Engines	March 1986
	6. Performing Organization Report No. 7325
7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
F.W. Eyre and P. Nikolaiczuk	D 1465 - 372 - 3
9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
SNC Inc. 1, Complexe Desjardins Montreal, Quebec H5B 1C8	11SD.T8200-3-3564
	11. DSS or Transport Canada Contract No.
12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 200 Dorchester Blvd. West West Tower, Suite 601 Montreal, Québec H2Z 1X4	Summary
	14. Sponsoring Agency Code
15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
Co-sponsored by the Energy R & D Programme of Energy Mines and Resources Canada.	J.H. Morgan

17. Abstract

Propane is commonly used as a fuel for vehicles owing to its low cost, good performance, and low emission characteristics. Propane is usually introduced into the engine intake manifold at low pressure, a process known as fumigation. Such a technique when applied to diesel engines can result in poor ignition and reduced engine life. The present study researched the injection of liquid propane at high pressure directly into the combustion chamber of a diesel engine, with ignition provided by a pilot injection of No. 2 diesel fuel. The results, obtained using a single-cylinder engine, indicate that good engine thermal performance and greatly reduced smoke emissions can be achieved. Economic studies show that a developed liquid 2-fuel injection system would be of interest to truck fleet operators in several regions of Canada.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Propane, 2-fuel injection, diesel engine, pilot injection smoke emissions.	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre on request.

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	25	

TDC. CDT 79 005

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. Nº du rapport Transports Canada	2. Nº de l'étude — CDT	3. Nº de catalogue du destinataire
TP 7709F	6118	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Système à injection propane/diesel pour moteurs diesels de camions	mars 1986
	6. Nº du rapport de l'organisme exécutant: 7325

7. Auteur(s)	8. Nº de dossier Transports Canada
F.W. Eyre et P. Nikolaiczuk	D 1465 - 372 - 3

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. Nº de dossier — ASC
SNC Inc. 1, Complexe Desjardins Montréal, Qué. H5B 1C8	11SD.T8200-3-3564
	11. Nº de contrat — ASC ou Transports Canada

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de rapport et période visée
Centre de développement des transports (CDT) 200, boul. Dorchester, ouest Tour ouest, Suite 601 Montréal, Québec H2Z 1X4	sommaire
	14. Code de l'organisme parrain

15. Remarques additionnelles	16. Agent de projet — CDT
Participation financière par le programme de R & D énérgetiques, Energie, Mines et Ressources Canada.	J.H. Morgan

17. Résumé

Le propane est souvent utilisé comme carburant pour véhicules en raison de son prix avantageux, sa performance souple, et son niveau d'émanations réduites. Le propane est normalement alimenté à basse pression dans le moteur à travers le collecteur d'admission, un procédé qu'on appelle l'aspiration. Cette technique pourrait s'avérer négative dans le cas des moteurs diesels et aurait pour résultat un allumage incomplet et une durée de vie réduite du moteur. Cette étude de développement portait sur l'injection du propane liquide à haute pression introduit directement dans la chambre de combustion d'un moteur diesel dont l'allumage était déclenché par une injection pilote de carburant diesel No. 2. Les résultats obtenus sur un moteur monocylindre indiquent un bon rendement thermique et un niveau trés réduit d'émanations de fumée. L'étude économique démontre qu'un système d'injection à deux carburants liquides pourrait être intéressant pour les propriétaires de flottes de camions dans plusieurs régions du Canada.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Propane, injection de deux carburants, moteurs diesels, injection pilote, émanations de fumée	Le centre de développement des transports dispose d'un nombre limité de copies.

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	14	

CDT/TDC 79-005

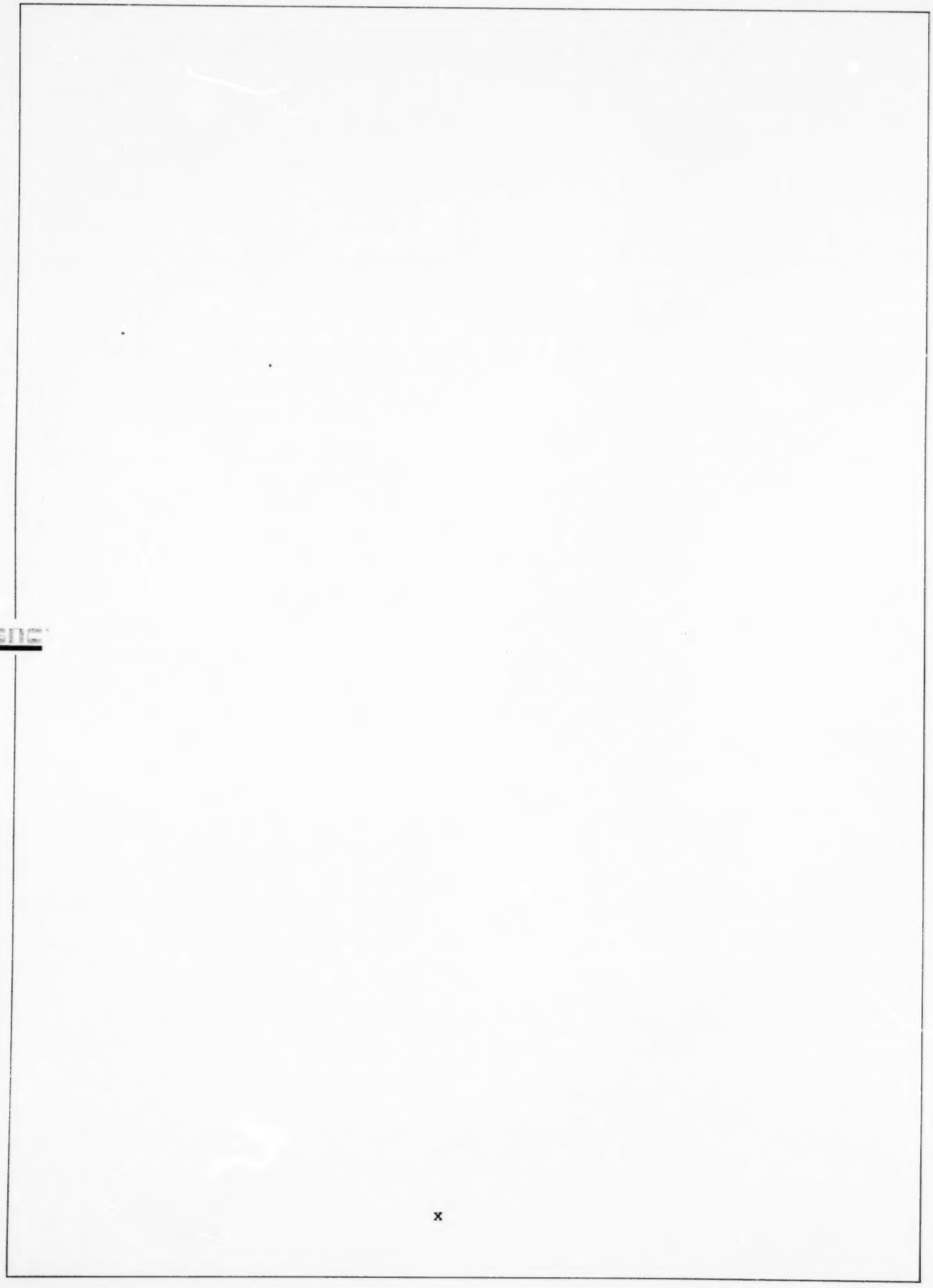
ACKNOWLEDGEMENTS

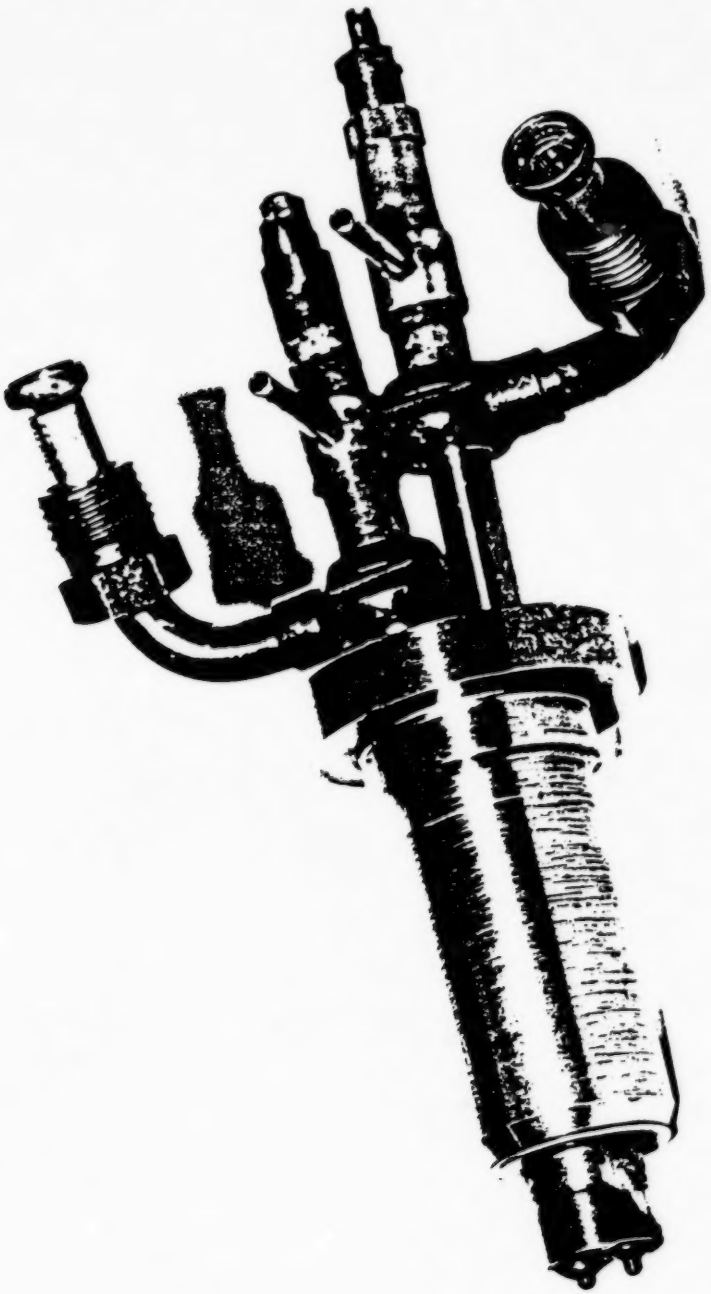
The authors gratefully acknowledge the advice and assistance provided by Mr. J.H. Morgan of the Transportation Development Centre of Transport Canada.

Financial support for this contract was made available through the Energy R & D programme of Energy Mines and Resources Canada.

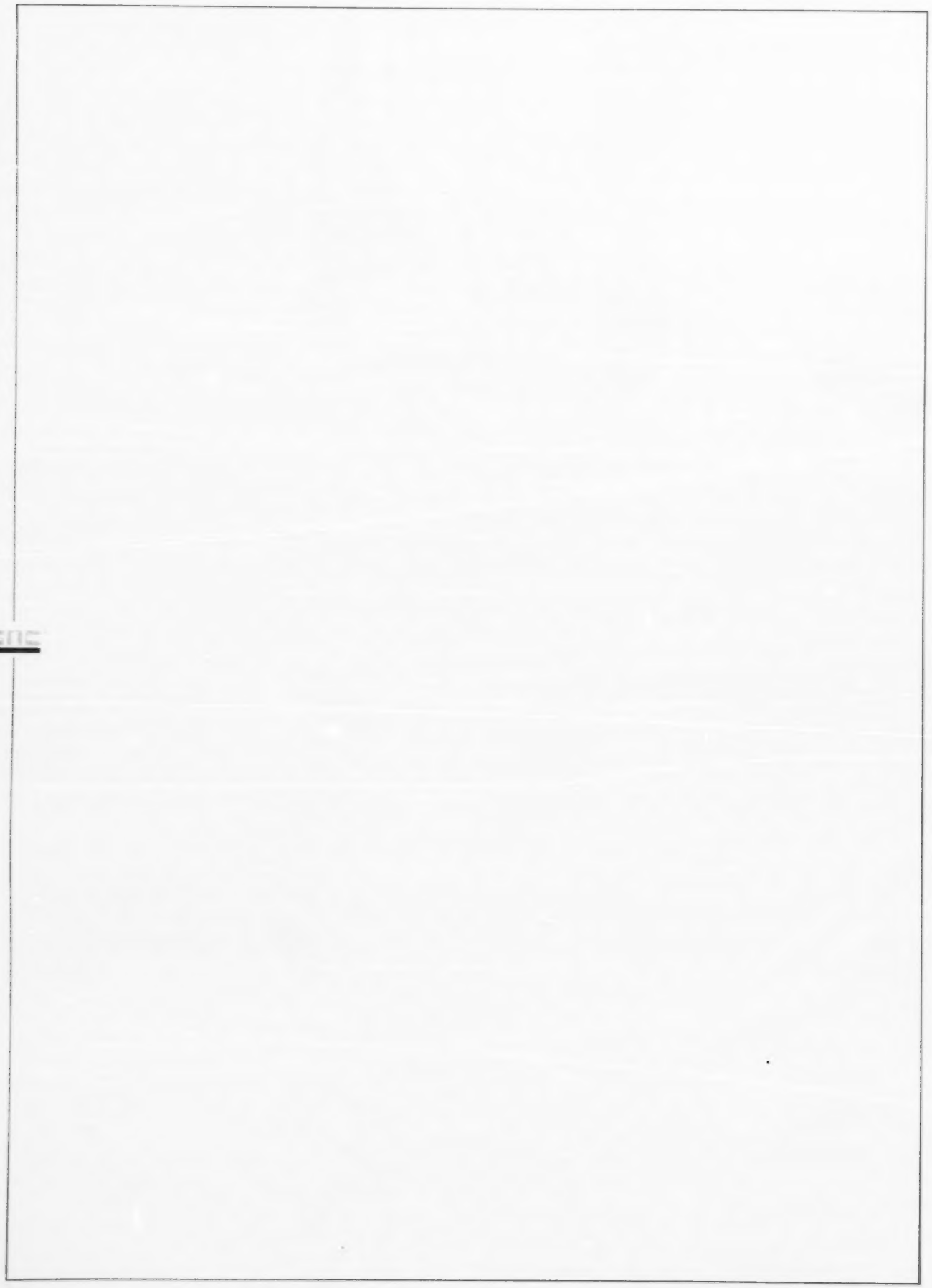
TABLE OF CONTENTS

		Page
1.0	INTRODUCTION	1
2.0	OBJECTIVES	3
	2.1 Overall Objectives	3
	2.2 Project Objectives	3
3.0	PROJECT ORGANIZATION	4
	3.1 Project Team	4
	3.2 Responsibilities	4
4.0	2-FUEL INJECTOR DEVELOPMENT	6
	4.1 Propane Characteristics as a Diesel Engine Fuel	6
	4.2 Technical Overview of 2-Fuel Systems	7
	4.3 Fuel Injector Basic Principles	10
	4.4 Design Requirements for 2-Fuel Injection System	13
	4.5 System Design and Fabrication	14
5.0	2-FUEL INJECTOR ENGINE TESTING	16
	5.1 Engine Testing Methodology	16
	5.2 Test Results	17
6.0	PRELIMINARY MARKET ASSESSMENT	21
7.0	DISCUSSION	23
8.0	CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	25





2- Fuel Injector For Liquid Propane and Pilot Diesel Fuel



1.0 INTRODUCTION

Although propane has been accepted as an established fuel alternative to gasoline for Otto cycle engines, it has not received similar acceptance as a fuel for diesel engines. This is due in part to its low cetane number which necessitates some form of ignition assist.

Several techniques are available to accomplish propane ignition in diesel engines. The approach most commonly used has been to treat propane as an alternative fuel to displace a portion of the diesel fuel and use the remaining diesel fuel as a pilot ignition source. A simple engine modification can then be made by the addition of a propane tank and low pressure supply line, with the propane metered in gaseous form into the engine manifold - commonly referred to as "fumigation".

Unfortunately this simple "strap-on" modification concept has major drawbacks. The fumigation approach means that the quantity of air drawn into the engine cylinders with each stroke is reduced by the volume of propane introduced, thus the power output of the engine is inherently reduced (this characteristic should not be compared with fumigation systems used to increase power output of diesels wherein cylinder pressure restrictions are relaxed). A more serious problem, however, concerns the combustion characteristics of the fumigated gas/air mixture which in practice limit the amount of diesel fuel which can be displaced to only about 35% for most commercial vehicle installations.

The concept of direct injection of propane is attractive since in place of a fumigated gas/air charge in the cylinder, liquid propane is injected directly into the cylinder at the appropriate

time in a controlled manner. Initial studies had shown that despite this promise, very little work had been done in this area, virtually no data was available on actual experience of handling propane at diesel fuel injection system pressures using existing diesel fuel system components, and no experimental engine test data was available.

Since two fuels are considered for injection but the cost of development of a new engine might not be warranted, it follows that an ideal system would permit both fuels to be injected through the same cylinder head injector aperture. In this way the high cost of cylinder head development for either new or retrofit applications would be eliminated.

It was in the foregoing context that the present dual-fuel injector concept and associated engine test program was developed.

In following sections of this report the organization of work, injector development considerations and the engine test program are presented and discussed.

2.0 OBJECTIVES

2.1 Overall Objectives

- To reduce Canada's dependence on imported oil-based fuels by displacing oil consumed by diesel engines in road transportation with propane.

- To develop equipment for the direct injection of propane and a "pilot" quantity of diesel oil into a diesel truck engine, suitable for retrofit and new applications.

2.2 Project Objectives

- To determine the performance of a Waukesha CFR 48 single cylinder pre-chamber engine operating on:

  a) Diesel fuel only
  b) Injected propane and diesel pilot ignition
  c) Fumigated propane and diesel pilot ignition

  and to compare the results under steady state conditions.

- To assess the potential of a propane dual-fuel injection system as an alternative vehicle fuel technology.

3.0 PROJECT ORGANIZATION

3.1 Project Team

The project team members included SNC Inc., the University of Toronto's Department of Mechanical Engineering (UTME), IVI Inc. (an SNC subsidiary located in Quebec City), and Southwest Research Institute (SWRI) located in San Antonio, Texas. Various specialist subcontractors were engaged as required during execution of the work, the most important of which was the Diesel Systems Group of Stanadyne Inc. located in Hartford, Connecticut.

3.2 Responsibilities

SNC was prime contractor, performing overall project management functions and being responsible for the specific tasks of technology review, basic injection system engineering, dual-fuel injector prototype design, test hardware coordination, preliminary market assessment, economic analysis and report preparation.

UTME was responsible for the conduct of a series of laboratory dynamometer engine tests using a dual-fuel pump and injectors supplied by SNC, followed by compilation and evaluation of test results.

IVI responsibilities included fabrication and bench testing of 2-fuel injectors using the motored dual-fuel pump, injector modification, and establishing tooling and manufacturing costs for the 2-fuel injector on a high volume basis.

The dual-fuel pump to supply separate high pressure streams of liquid propane and diesel oil was designed, built and checkout

tested by SWRI, who also provided technical assistance to the project in areas of fuel spray and basic diesel engine combustion technology.

Stanadyne furnished prototype injector nozzle tips and also provided key technical guidance with regards to injector fabrication methods and associated equipment, stock parts identification, and assistance in locating design information.

4.0 2-FUEL INJECTOR DEVELOPMENT

4.1 Propane Characteristics as a Diesel Engine Fuel

"Propane" as commonly sold is composed of a mixture of hydrocarbons, chiefly propane, propylene and butanes. Known throughout the world as LPG (liquified petroleum gas), autogas, and also commercial propane, it is marketed for automotive use in North America as Grade I (or HD-5) propane for which a limit on the maximum level of propylene has been established.

Propane offers initial attractions as an alternative fuel by virtue of its wide availability through an established and expanding distribution network, its forecast continued domestic supply, its long history of commercial use, its known clean engine performance, and its low price on a thermal basis.

Notwithstanding these advantages, propane differs from No. 2 diesel fuel in certain important aspects which require equipment design attention:

The vapor pressure of propane increases rapidly with temperature, reaching a value of 4140 kPa at a typical underhood engine compartment temperature of 90°C. Accordingly, cavitation problems are to be expected when pumping propane at these temperatures, a situation that does not exist in the case of diesel oil.

The thermal coefficient of expansion of propane is also extremely high, which affects its density and volumetric energy content and therefore dictates the use of a form of fuel delivery rate control with substantial temperature compensation. Propane undergoes a 25% reduction in specific gravity between the

temperatures of 0°C and 60°C, representing the range of fuel temperature variation during a typical winter engine warmup session. Diesel oil systems require less temperature compensation, having only a 5% reduction in S.G. over the same range of temperature.

Propane has a higher mass calorific value and a lower density than No. 2 diesel fuel. Approximately 60% more propane volume must be delivered from each injection pump stroke at 20°C compared to No. 2 diesel oil to maintain the same engine power levels. Substantial pump plunger/barrel modifications or complete pump replacement could be required to accomplish this in a converted engine.

In addition, supplementary pump lubrication is necessary to deal with propane's poor properties as a lubricant (termed "lubricity"), due principally to its low viscosity. As a substitute for diesel fuel, the consequences of propane's lower viscosity include reduced pumping power requirements, (if delivery volume is unchanged), lower peak pump pressure requirements for equivalent spray characteristics, and a greater tendency towards leakage throughout the pumping circuit.

The auto-ignition temperature of propane is considerably higher at 490°C than that of No. 2 diesel oil at 220°C. The difference, in fact, is so great that under most conditions of operation propane will not ignite in a diesel engine without the provision of some form of ignition assistance.

4.2 Technical Overview of 2-Fuel Systems

The term "dual fuelling" when applied to diesel engines generally implies the use of one of the following fuel feed arrangements:

- o a combustible gas fumigated into the inlet air stream and ignited by a small "pilot" injection of good quality diesel fuel introduced through the normal injector.

- o continuously or batch blended combinations of liquid non-diesel fuel and diesel oil introduced directly into the combustion chamber through a single injector.

- o a primary non-diesel liquid fuel sprayed at low pressure into the inlet air stream and ignited by a small "pilot" injection of good quality diesel fuel introduced through the normal injector.

- o a primary non-diesel liquid fuel and pilot diesel fuel injected directly into the combustion chamber through a common injector or through two separate injectors.

In fumigated systems the non-diesel fuel is metered into the inlet manifold as a gas at atmospheric pressure. Fumigated gas systems (natural gas and propane) are in popular use on a variety of diesel engines. Gaseous fuel compression-ignition is characterized by long ignition delay and high rates of cylinder pressure rise (knock), in addition to a tendency to misfire under light engine loads (high air/fuel ratios). The volumetric efficiency and effective compression ratio are adversely affected by the fumigated gas, due to displacement of the intake air charge. Propane fumigation systems installed on diesel vehicles are currently limited to approximately 35% overall displacement of diesel oil, largely due to engine durability problems linked to high cylinder pressure peaks generated by the combustion of gaseous propane.

Blended dual-fuel systems are commonly used in stationary, railroad and marine engine applications where fuel stocks proportioning or onboard metering/blending systems can be adequately supervised. Research on high speed engines has shown that the potential for displacement of diesel oils by non-diesel fuels using this approach is limited to relatively low percentages, probably due to unstable ignition caused by dilution of the pilot fuel charge, and that poor cold starting and fuel separation after blending remain practical obstacles.

The technique of spraying liquid primary fuel into the inlet manifold airstream (commonly known as port injection) employs hardware commercially available for spark ignition gasoline fuel injection engines. Due to the uniform distribution of the primary non-diesel fuel charge throughout the combustion chamber, homogeneous air/fuel mixtures are achieved (lack of charge stratification) leading to poor combustion behavior similar to that experienced when fumigating primary fuels. Inlet air heating and increased compression ratio are frequently required to achieve satisfactory performance levels.

Dual-fuel injection directly into the combustion chambers is an experimentally-established technique for realizing high levels of diesel oil displacement in high speed engines with few performance tradeoffs. Since fuel charge stratification can be maintained for both fuels, correct air/fuel ratios can be achieved in the vicinity of the flame front generated by the pilot diesel spray. Moreover, care in control of injector spray orientation and projection through proper injection system calibration can result in good engine performance over the full range of speed and load. Experimental systems intended to prove the performance potential of this technique have employed two separate fuel pumps feeding separate injectors installed in

highly modified cylinder heads. Others have placed the second injector in the aperture intended for the glow plug, with additional means provided for cold starting. The 2-fuel system conceived during the course of the present project will be described later in this report.

4.3 Fuel Injector Basic Principles

The output and efficiency of fuel injection engines are greatly dependent on the characteristics of the fuel spray injected from the nozzle into the combustion chamber. The process of spraying accomplishes two objectives: it divides the liquid fuel into a multiplicity of fine droplets to increase its surface area for more rapid heat transfer and combustion, and it distributes the fuel through the combustion chamber for intimate mixing of the fuel and air.

The most widely used method for producing fuel sprays in diesel engines is by high pressure injection. Fuel is forced through one or more nozzle orifices under pressure to form unstable jets. The jets disintegrate upon leaving the nozzle and making contact with the air in the combustion chamber.

Injection Nozzles

Injection nozzles have two functions: first, they atomize or finely divide the metered fuel to promote ignition and combustion; second, they distribute the fuel sprays through the combustion chambers with or without the assistance of air turbulence, to form a combustible mixture. In addition, the nozzles of a multi-cylinder engine should flow uniformly for equal fuel distribution to each engine cylinder. There are a wide variety of nozzle designs to provide the spray

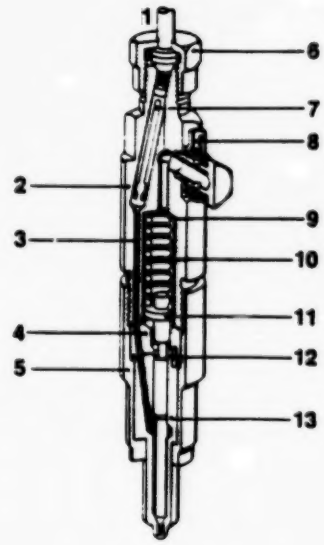
characteristics required for each type of combustion chamber, but all nozzles can be classified as "open" or "closed".

Open injector designs are arranged so that injected fuel pressure acts on both sides of a check or poppet valve, and so these valves act as pressure reducing elements. The effective injection pressure is the pressure of the fuel entering the injector minus the valve closing pressure. Open injectors achieve only coarse atomization of fuel, which is satisfactory for pre-combustion chamber (indirect injection) engines. Their advantages are simplicity, absence of any fuel leak-off piping, and ease of servicing.

The basic feature of closed injectors is that fuel injection pressure acts on only one side of the valve. This is characteristic of a conventional closed type nozzle, shown in Fig. 1, in which only the lower end of the valve is explosed to the injection pressure while the upper end is vented via leak-off piping to the supply source. The valve is a lapped fit in its body so that only a slight amount of fuel, adequate for lubrication, leaks to the upper end of the valve.

Closed injector designs are used in direct injection combustion chambers because of their ability to generate finely atomized multiple fuel sprays, as required by this type of combustion chamber.

The complete assembly shown in Fig. 1 comprises the nozzle holder containing the spring and adjustment means for controlling the valve opening pressure, a spindle for transferring the spring load to the valve, fuel inlet and leak-off passages, nozzle valve and body, spray tip, and nozzle retaining nut. The valve lift is limited by the hardened stop plate interposed between the valve body and holder body.



1 Inlet
2 Holder body
3 Inlet passage
4 Intermediate ring
5 Nozzle retaining nut
6 Union nut for fuel-injection tubing
7 Edge-type filter
8 Leakage-fuel connection
9 Shims
10 Compression spring
11 Pressure spindle
12 Locating pins (for radial location of nozzle)
13 Injection nozzle

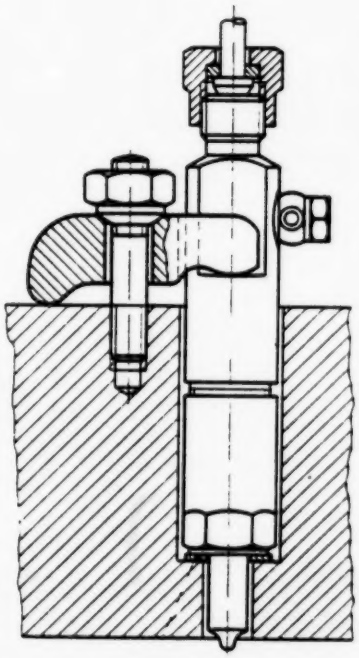


Fig. 1 Typical closed Injector Details

In operation, metered fuel, under pressure from the injection pump, flows through the inlet, the edge filter, and around the valve, filling the nozzle body. When the pressure acting on the differential area (the difference between the area of the major diameter of the nozzle valve at the valve guide and the area at the valve seat) overcomes the spring force of the pressure adjusting spring, the nozzle valve lifts off its seat. As the valve raises to its predetermined lift height, high pressure fuel is allowed to flow through the spray orifices in the tip. When delivery to the nozzle ends and injection pressure drops below the preset nozzle opening pressure, the spring returns the valve to its seat.

During injection, a small amount of fuel leaks through the clearance between the nozzle valve and its guide, lubricating and cooling all moving parts. The fuel flows through a leak-off boot at the top of the nozzle body and returns to the fuel tank.

4.4 Design Requirements for 2-Fuel Injection System

It was the subject of the present investigation project to research the diesel ignition of propane using a pilot injection of No. 2 diesel fuel to initiate combustion, employing a retrofit fuel injector capable of injecting two fuels through a standard engine cylinder head aperture.

The design requirements for such a fuel injection system were established as dictated by such factors as the fuel characteristics, engine type, engine application, and the dimensions of the injector aperture in the test engine cylinder head.

4.5 System Design and Fabrication

The requirement for separate propane and diesel oil injection at high pressure (max. approx. 21,000 kPa) with completely independent timing and volumetric delivery adjustments was satisfied by mounting two single-plunger injection pumps inline, connected by a variable phase angle mechanical coupling. The drive was provided by a takeoff shaft coupled to the test engine crankshaft through another variable phase angle mechanical coupling.

Propane was maintained in the liquid state by controlling its temperature and pressure within critical limits. Cavitation problems were anticipated at the pump plunger inlet (suction stroke) and in the delivery line adjacent to the engine. The design solution chosen was to circulate cooling water through a jacket surrounding the propane delivery line and the fuel injector itself. A pressure level of approx. 4000 kPa was maintained at the propane pump inlet using a piston-type priming pump fitted with a pressure relief valve to permit recirculation of excess propane.

The issue of propane's poor lubricity was addressed at the time of system design. Effective design solutions were found by converting the priming pump to diaphragm operation and installing an externally-pressurized oil lubrication system on the injection pump. Both these measures are accepted practice on gasoline high pressure injection systems, since gasoline is also a very poor lubricant.

When selecting a 2-fuel injector design, a serious challenge was presented by the combination of constraints imposed by the test engine injector aperture size, required injection pressures, and

the requirement for two separate fuel sprays (the latter deemed necessary to permit full experimental variability of spray patterns, quantity and timing).

The injector design eventually adopted was based on the use of two separate spray nozzles installed in a common injector body, with injection initiation and cutoff regulated by individual slender needle valves for each fuel stream. In order to avoid interference between valve assemblies in the valve guide and fuel inlet areas, the valve longitudinal axes were inclined at a small included angle. Stock nozzle spray tips were employed, machined flat on one side to permit closer spacing of the valve centerlines. Production pencil injector components (Stanadyne) were used for fuel inlet, valve, valve guide and spring assemblies.

Several injectors were fabricated for engine testing, each with a different spray orientation. The different spray patterns were achieved by selectively plugging unwanted spray holes in the stock nozzles, using an adhesive and tapered wire of the appropriate diameter.

Fabrication and bench testing of injectors was performed by IVI in conjunction with specialist suppliers. The 2-fuel pumping system was designed and built by SWRI, and then shipped to IVI for the purpose of injector development and bench testing, using a variable speed electric motor drive. The complete system was then installed on the laboratory test engine at UTME, where a program of engine performance testing was conducted.

5.0 DUAL-FUEL INJECTOR ENGINE TESTING

5.1 Engine Testing Methodology

The engine test program executed by UTME using a single-cylinder Waukesha CFR 48 laboratory engine was organized to accomplish the following objectives:

- o determine the performance characteristics of the test engine operating in two dual-fuel modes (fumigated, and injected propane with pilot diesel ignition) compared to performance levels using No. 2 diesel oil only

- o define guidelines for equipment requirements for a full-scale injection system capable of handling liquid propane and No. 2 diesel oil, operating on the pilot ignition principle.

Initial tests to establish baseline performance levels of the engine were performed using No. 2 diesel fuel fed to the engine through the standard injector (poppet-nozzle type) and pumping system. Baseline tests were carried out on a dynamometer at three compression ratios (19:1, 22:1 and 25:1) and at three engine speeds (1200, 1500, and 1800 RPM). From the measured data, calculations were made of engine torque, fuel consumption, exhaust smoke opacity, carbon monoxide, hydrocarbons, and oxides of nitrogen emissions.

The dynamometer tests were repeated covering the same range of test points with the engine operating in two dual-fuel modes, ignition being provided by a pilot injection of No. 2 diesel oil in both cases. The dual-fuel tests were conducted using two means of propane (primary) fuel introduction; the first being

fumigation, in which gaseous propane at ambient pressure was supplied to the test engine's inlet manifold where it was mixed with air entering the cylinder, and the second means being liquid injection, in which liquid propane was pumped to a high pressure and injected directly into the engine's prechamber concurrent with the pilot injection of diesel oil.

The latter testing involving liquid propane injection was performed using two separate injectors for propane and diesel oil followed by a series of tests utilizing the 2-fuel injector supplied by SNC/IVI. Additional parameters varied during this series of tests included injection timing (absolute and relative), injector valve opening pressure, and injector spray orientation.

Following completion of engine testing, the results were analyzed and performance calculations made for all modes of fuel introduction. Typical fuel consumption data for the 2-fuel injector were used to calculate the projected fuel cost savings when applying this dual-fuel performance to the full-scale case of a heavy road vehicle.

5.2 Test Results

The engine tests successfully demonstrated that liquid propane could indeed be injected into a diesel engine and ignited using a pilot injection of diesel fuel, and that the energy conversion performance is comparable to that obtained with No. 2 diesel fuel.

Both propane liquid injection and fumigation techniques resulted in engine operation with significantly reduced solid particulate (smoke) emissions and moderate reductions in NO_x emissions, as compared to No. 2 diesel baseline data.

The reduction in exhaust smoke was particularly apparent at higher power levels, indicating that a propane/diesel engine's output could be increased without exceeding smoke limits established for operation on diesel fuel.

Engine operation using propane liquid injection required an average of 10% pilot diesel fuel (total fuel energy basis) for complete and reliable combustion, while operation using fumigated propane required average diesel fuel levels of 15 - 25%.

Hence operation at present fuel price levels would be more economical using propane liquid injection compared to fumigation.

It was further noted that engine operation using liquid propane injection was more stable than when using fumigation, with little tendency to surge or misfire.

Similar fuel consumption figures on a total energy basis were recorded for both dual-fuel techniques and No. 2 diesel operation, with consumption ranging from 7.5 to 9.0 MJ/kWh.

Typical graphs of recorded smoke emissions and specific fuel consumption are shown in Fig. 2 and 3 respectively.

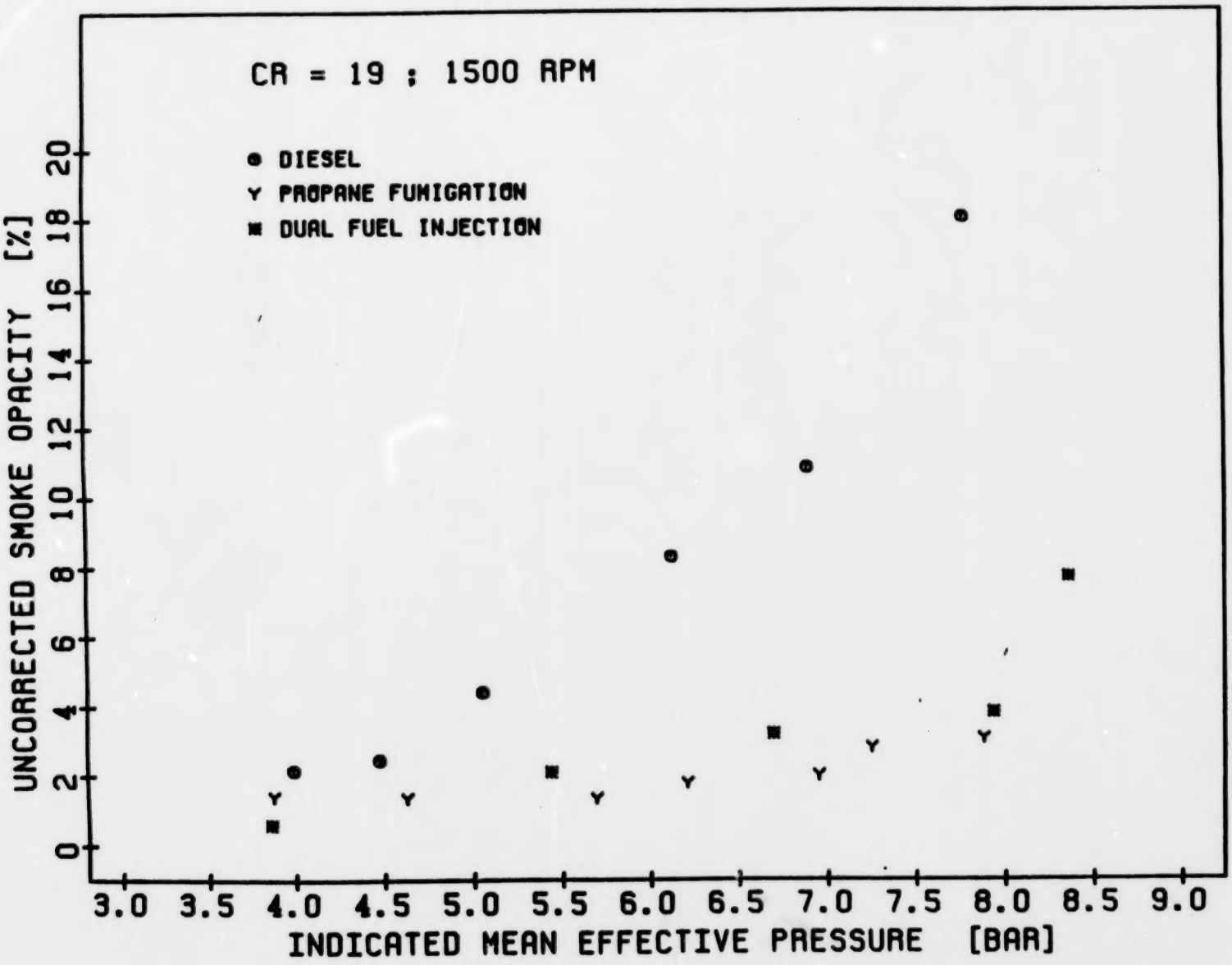


Fig. 2 Typical Smoke Emissions

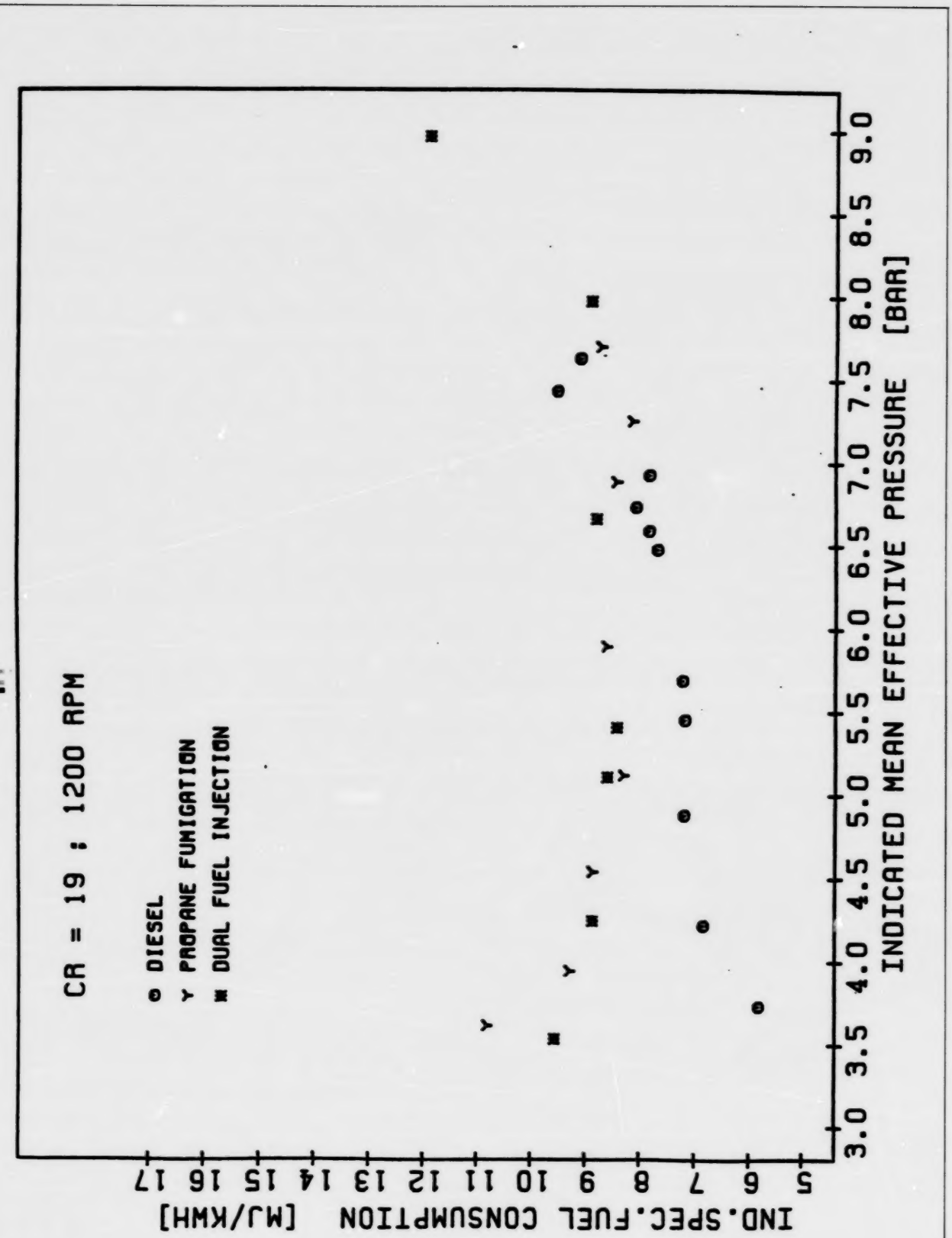


Fig. 3 Typical Indicated Specific Fuel Consumption

6.0 PRELIMINARY MARKET ASSESSMENT

The propane/diesel fuel injection system tested under the present program is intended to be developed into a retrofit or original equipment system applicable to diesel trucks operating on freight and other long-haul routes throughout North America where propane is readily available.

Market penetration is foreseen in cases where the following criteria are satisfied:

- sufficient onboard vehicle space exists to accommodate the addition of propane fuel storage tanks.
- the engine is equipped with an externally-mounted fuel injection pump.
- sufficient annual fuel consumption is involved.
- sufficient differential exists between the price of propane and No. 2 diesel fuel.

Cost estimates and a manufacturing plan for the production of various annual quantities of 2-fuel injectors were prepared. In order to evaluate the market potential for the 2-fuel system, it was assumed that the baseline fuel efficiency of the test engine was similar to the fuel performance of a full-sized multicylinder truck engine. The relative fuel efficiency figures when operating in both diesel and 2-fuel modes were then extended to compute annual fuel costs for 8 Canadian regions for which propane and diesel fuel pump prices are published.

The results indicate $1800 to $2900 annual fuel savings using the 2-fuel approach for operators of suburban trucks in and around Toronto, Edmonton and Vancouver. In the case of operators of trucks on long-haul routes passing through Toronto, Edmonton and Vancouver, fuel bills would be further reduced using 2-fuel equipment, with annual fuel savings ranging from $3700 to $5800.

The economic benefits accrued from 2-fuel operation would be sufficiently large to return the original cost of investment in fuel conversion equipment within a period ranging from one to three years, depending upon the route structure and location. This finding is supported by the limited acceptance of fumigated 2-fuel (propane/diesel) systems in some areas of Canada and the United States, despite their lower diesel displacement capability compared to the injected propane system.

7.0 DISCUSSION

The engine tests have shown that liquid propane can be injected directly into a diesel engine cylinder through injectors of conventional design, and that the energy conversion performance is close to that of a diesel fuel system. The indications are that with optimization of the prototype system tested engine operation would be as efficient as that achieved with developed diesel fuel systems.

Both gas-fumigated and liquid injected propane test results show large reductions in solid particulate emissions as compared to diesel fuel operation, as would be expected. This will permit the use of smaller engines operating at higher specific outputs than at present, and has special implications regarding diesel engines in urban service.

Test measurements were all made under steady state conditions and as such it was possible to achieve large (75 - 85%) displacement of diesel fuel with the fumigation system. The limitations to accurate metering and reliable ignition using fumigation during low load transient conditions are well known and have not been resolved. There is every reason to believe that by injecting liquid propane the necessary control could be exercised as is the case with diesel fuel injection systems.

Tests were all conducted on a Waukesha CFR prechamber engine. An open-chamber engine would certainly pose more stringent requirements on a twin injector design but the extent can only be assessed by further testing.

The diesel engine development work conducted reconfirmed the more commonly experienced problems with propane handling at lesser pressures: all connections, seals and precision-mated surfaces are particularly prone to leakage at diesel system pressures.

A closed system is therefore virtually mandatory. Due to the low lubricity of propane some form of injection pump lubrication system is necessary, and injector wear also had to be resolved during development. It was noted that solutions to the problems encountered were all well known.

Propane has also been identified with exhaust valve and seat damage (recession). The performance tests undertaken did not involve endurance testing, but it would appear possible that controlled injection could in turn be used to ease problems due to excessive pressure rise rates and undesirable temperature distributions. Whether the presence of the pilot diesel fuel would also assist in reducing valve recession is not known.

The diesel fuel could, however, be used in any developed 2-fuel system to assist with propane cooling if necessary. This should not pose any particular problems since the technology is available from gasoline injection systems.

The result of the design, development and test experience has been to show that propane can be injected as a liquid into a diesel engine which will then operate as efficiently as would be the case on diesel fuel alone. In geographic areas such as Toronto, Edmonton and Vancouver the economics of a developed system would be of interest to fleet operators of suburban and long-haul trucks.

The principles involved in dual fuelling propane/No. 2 diesel are directly applicable to other fuel combinations such as off-spec. diesel/No. 2 diesel or methanol/No. 2 diesel.

A general interest in the concept is evidenced by the design activities of other manufacturers in this area revealed by the technology studies.

8.0 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

- The viability of dual-fuel propane injection/No. 2 diesel engine operation has been demonstrated.

- Liquid injection propane/No. 2 diesel performance compares favourably with baseline diesel performance.

- Solid particulate emissions are radically reduced compared to operation on No. 2 diesel fuel.

- Testing and development should be extended to open-chamber engines, and should include durability testing.

TP 7709 F

SYSTEME D'INJECTION PROPANE/DIESEL POUR MOTEUR DE CAMION DIESEL

RAPPORT SOMMAIRE

préparé pour le

CENTRE DE DEVELOPPEMENT DES TRANSPORTS

par

F.W. Eyre et P. Nikolaiczuk

DIVISION RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

SNC INC.

MARS 1986

CA1
DTC 801
86
P62SZ
c.2

SNC REF. 7325

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles du contractant et ne réflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports, Transports Canada.

This document is also available in English:
"Propane/Diesel Injection System for Diesel Truck Engines"
TP 7709 E.

EQUIPE DE RECHERCHE

Les personnes suivantes ont été impliquées dans la conduite du programme de recherche:

SNC Inc.	F.W. Eyre
	P. Nikolaiczuk
Université de Toronto	J.F. Keffer
	J.S. Wallace
	L. Segal
	U. Oester
IVI Inc.	J.P. Drolet
	S. Roy
	M. St-Laurent
Southwest Research Institute	R. Thring
	R. Phatak
Stanadyne Inc.	B. Wysong
	L. Tolan

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP 7709F	6118	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Système à injection propane/diesel pour moteurs diesels de camions	mars 1986
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant: 7325

7. Auteur(s)	8. N° de dossier Transports Canada
F.W. Eyre et P. Nikolaiczuk	D 1465 - 372 - 3

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier — ASC
SNC Inc. 1, Complexe Desjardins Montréal, Qué. H5B 1C8	11SD.T8200-3-3564
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de rapport et période visée
Centre de développement des transports (CDT) 200, boul. Dorchester, ouest Tour ouest, Suite 601 Montréal, Québec H2Z 1X4	sommaire
	14. Code de l'organisme parrain

15. Remarques additionnelles	16. Agent de projet — CDT
Participation financière par le programme de R & D énergétiques, Energie, Mines et Ressources Canada.	J.H. Morgan

17. Résumé

Le propane est souvent utilisé comme carburant pour véhicules en raison de son prix avantageux, sa performance souple, et son niveau d'émanations réduites. Le propane est normalement alimenté à basse pression dans le moteur à travers le collecteur d'admission, un procédé qu'on appelle l'aspiration. Cette technique pourrait s'avérer négative dans le cas des moteurs diesels et aurait pour résultat un allumage incomplet et une durée de vie réduite du moteur. Cette étude de développement portait sur l'injection du propane liquide à haute pression introduit directement dans la chambre de combustion d'un moteur diesel dont l'allumage était déclenché par une injection pilote de carburant diesel No. 2. Les résultats obtenus sur un moteur monocylindre indiquent un bon rendement thermique et un niveau trés réduit d'émanations de fumée. L'étude économique démontre qu'un système d'injection à deux carburants liquides pourrait être intéressant pour les propriétaires de flottes de camions dans plusieurs régions du Canada.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Propane, injection de deux carburants, moteurs diesels, injection pilote, émanations de fumée	Le centre de développement des transports dispose d'un nombre limité de copies.

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	14	

CDT/TDC 79 005

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 7709E	6118	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Propane/Diesel Injection System for Diesel Truck Engines	March 1986
	6. Performing Organization Report No. 7325
7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
F.W. Eyre and P. Nikolaiczuk	D 1465 - 372 - 3
9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
SNC Inc. 1, Complexe Desjardins Montreal, Quebec H5B 1C8	11SD.T8200-3-3564
	11. DSS or Transport Canada Contract No.
12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 200 Dorchester Blvd. West West Tower, Suite 601 Montreal, Québec H2Z 1X4	Summary
	14. Sponsoring Agency Code
15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
Co-sponsored by the Energy R & D Programme of Energy Mines and Resources Canada.	J.H. Morgan

17. Abstract

Propane is commonly used as a fuel for vehicles owing to its low cost, good performance, and low emission characteristics. Propane is usually introduced into the engine intake manifold at low pressure, a process known as fumigation. Such a technique when applied to diesel engines can result in poor ignition and reduced engine life. The present study researched the injection of liquid propane at high pressure directly into the combustion chamber of a diesel engine, with ignition provided by a pilot injection of No. 2 diesel fuel. The results, obtained using a single-cylinder engine, indicate that good engine thermal performance and greatly reduced smoke emissions can be achieved. Economic studies show that a developed liquid 2-fuel injection system would be of interest to truck fleet operators in several regions of Canada.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Propane, 2-fuel injection, diesel engine, pilot injection smoke emissions.	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre on request.

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	25	

TDC. CDT 79 005

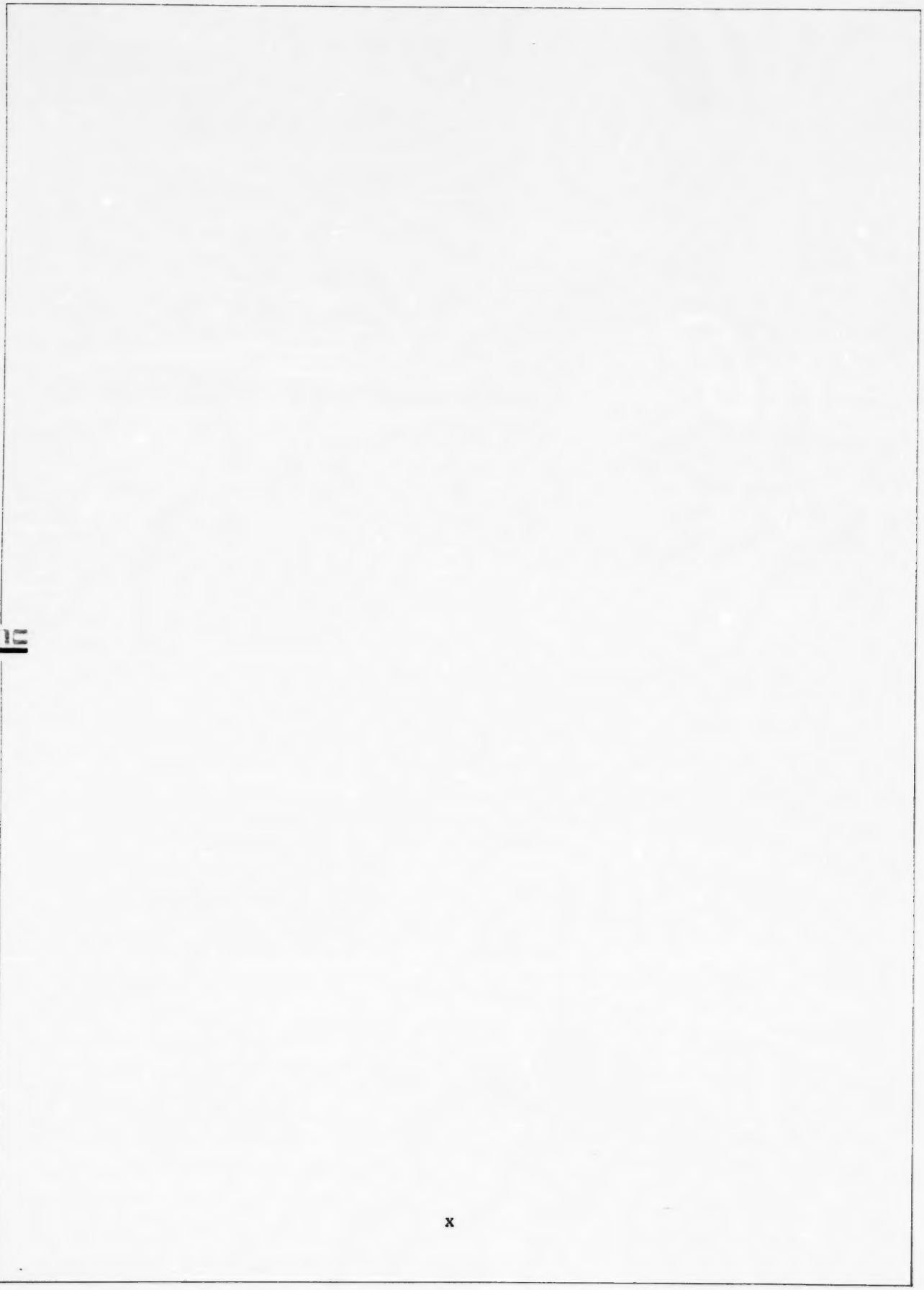
REMERCIEMENTS

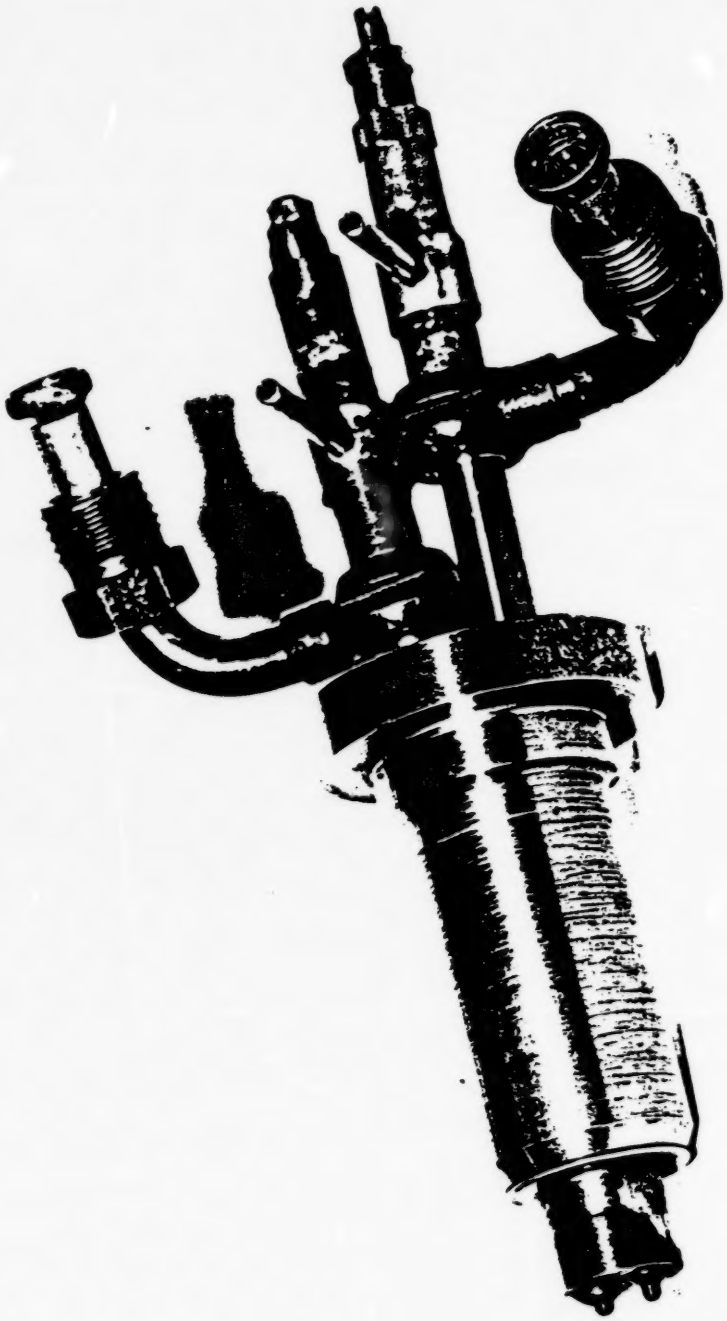
Les auteurs désirent remercier M. J.H. Morgan du Centre de Développement des Transports, Transport Canada, pour ses commentaires et avis.

Les fonds pour la réalisation de ce contrat ont été obtenus via le Comité de recherche et développement énergétiques.

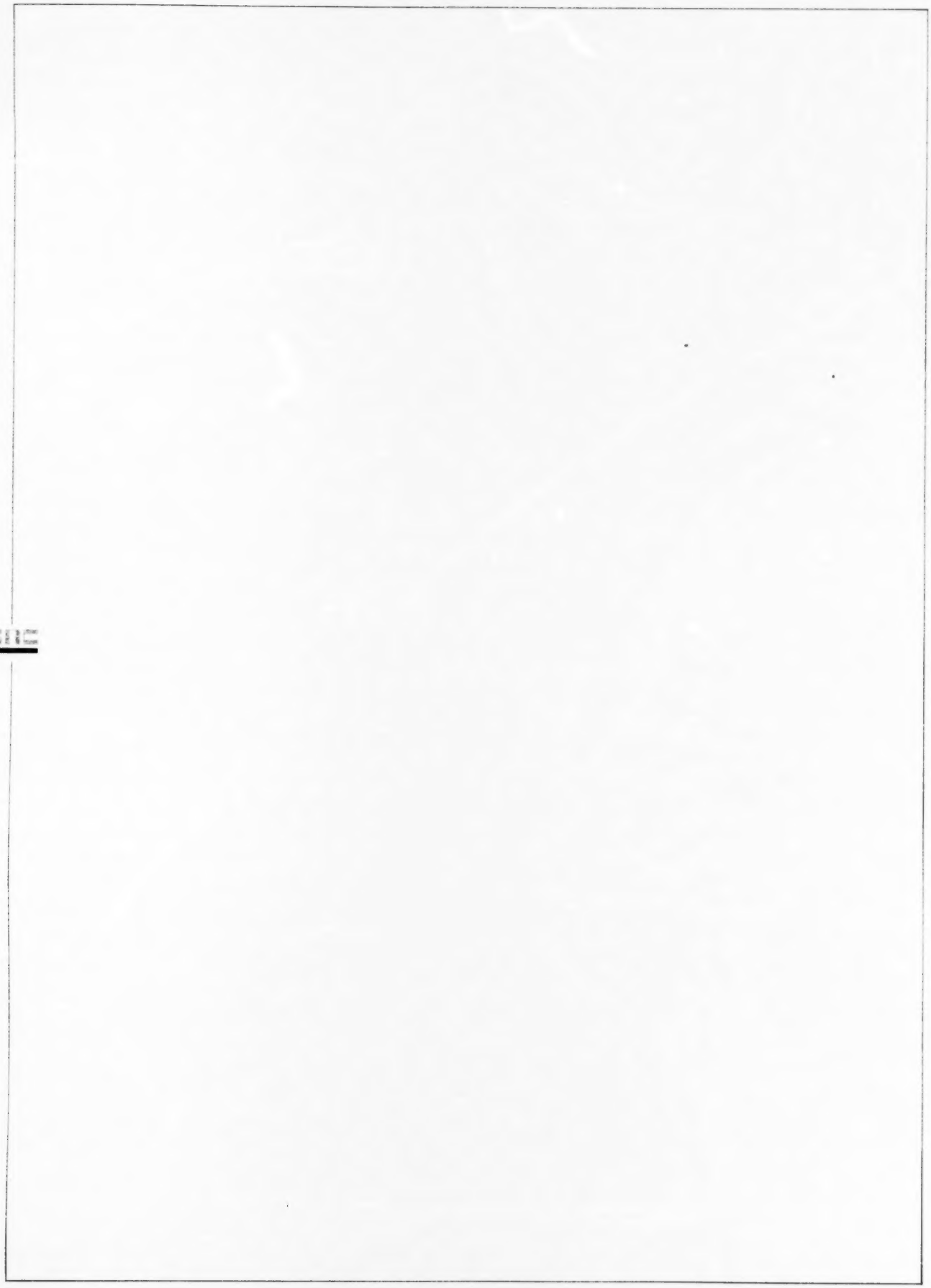
TABLE DES MATIERES

		Page
1.0	INTRODUCTION	1
2.0	DEVELOPPEMENT DE L'INJECTEUR A DOUBLE CARBURANT	2
	2.1 Caractéristiques du propane comme combustible pour moteur diésel	3
	2.2 Aspects techniques du système à deux carburants	5
	2.3 Principes de base des injecteurs de carburant	6
	2.4 Exigences d'un système d'injection à double carburant	7
	2.5 Design du système et fabrication	7
3.0	ESSAI DU MOTEUR A INJECTEUR A DOUBLE CARBURANT	
	3.1 Méthodologie des essais	9
	3.2 Résultats	11
4.0	DISCUSSION	12
5.0	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	14





2 - Injecteur de carburant pour le propane liquide



1.0 INTRODUCTION

Le propane est utilisé comme un carburant de remplacement pour l'essence dans les moteurs à cycle de Otto; son utilisation n'est cependant pas reconnue pour les moteurs diésels en raison de son bas indice de cétane. En effet, des techniques particulières sont nécessaires pour assurer un allumage fiable.

Plusieurs techniques sont cependant disponibles. L'approche la plus fréquemment utilisée consiste à ne remplacer qu'une fraction du carburant diésel et à utiliser la fraction restante comme pilote d'allumage. Une simple modification du moteur peut alors être effectuée par l'addition d'un réservoir de propane et d'une ligne d'alimentation à basse pression. Le propane est alors fourni sous forme gazeuse dans le collecteur d'admission du moteur.

Malheureusement, ce concept a des désavantages majeurs: la quantité d'air admise dans le moteur est diminuée par le volume de propane introduit de sorte que la puissance du moteur est plus faible. Les caractéristiques de combustion du mélange gaz-air limitent, en pratique, la quantité de carburant diésel remplacée à environ 35%. C'est là une contrainte sérieuse.

Le concept de l'injection directe de propane demeure cependant intéressant puisqu'à la place d'un mélange gaz-air, du propane liquide peut être directement injecté dans le cylindre d'une façon contrôlée. Des études préliminaires ont démontré que, malgré cette possibilité, très peu de travail a été effectué dans ce domaine. A toute fin pratique, il n'existe pas de données expérimentales sur la manipulation du propane aux pressions nécessaires pour l'injection dans un moteur à combustible diésel.

Comme il n'est pas réaliste de considérer le développement d'un nouveau moteur, il y a intérêt à développer un système qui permette l'alimentation des deux combustibles (diésel/propane) par un seul injecteur. Comme nous considérons deux combustibles et que le développement d'un nouveau moteur ne peut se justifier, il s'ensuit qu'un système idéal permettrait l'injection des deux combustibles par le même injecteur. Cette solution élimine les coûts importants de développement d'une nouvelle culasse.

C'est dans cet esprit que le concept de l'injecteur à double carburant et le programme d'essais ont été développés.

2.0 DEVELOPPEMENT DE L'INJECTEUR A DOUBLE CARBURANT

2.1 Caractéristiques du propane comme combustible pour moteur diésel

Le "propane" se compose d'un mélange d'hydrocarbures, en particulier de propane, de propylène et de butane. Connu sous le sigle LPG (Liquefied Petroleum Gaz), le propane est commercialisé pour le marché automobile, comme propane grade 1 (ou HD-5) pour lequel une limite supérieure sur la fraction de propylène a été établie.

Le propane est d'autant plus attrayant comme source de carburant qu'il est disponible dans un réseau déjà établi, que son approvisionnement semble assuré, qu'il brûle proprement et que son prix est faible par rapport à sa capacité calorifique.

Le propane est différent du combustible diésel no 2, ce qui nécessite des modifications aux injecteurs:

La tension de vapeur du propane augmente rapidement avec la température jusqu'à une valeur de 4140 kPa à une température de 90°C.. Des problèmes de cavitation risquent de se produire à ces températures. Cette situation n'existe pas dans le cas de l'huile diésel.

Le propane a un coefficient d'expansion thermique élevé. Le contenu énergétique varie donc énormément en fonction de la densité et du volume. Il sera donc nécessaire d'utiliser un mécanisme de contrôle du taux d'approvisionnement qui tiendra compte de l'effet de la température. La gravité spécifique du propane diminue de 25% entre les températures de 0°C et 60°C. Cette gamme de température représente la variation probable d'un moteur pendant sa période de réchauffement en hiver. Les systèmes diésel ne demandent pas une telle compensation pour la température puisque la gravité spécifique ne varie que de 5% dans cette même gamme de températures.

Le propane a une valeur calorifique massique plus élevée et une densité plus faible que le combustible diésel no 2. A 20°C et pour une même puissance de moteur, il faut fournir un volume de propane de 60% supérieur à celui du diésel. Des modifications importantes de la pompe ou son remplacement seront nécessaires pour satisfaire ce besoin.

De plus, compte-tenu des piètres propriétés lubrifiantes du propane, un système de lubrification additionnel sera nécessaire. Les autres conséquences de la faible viscosité du propane sont la diminution de la puissance de pompage requise (si le volume livré est inchangé), la diminution de la pression maximum de pompage pour des caractéristiques de pulvérisation équivalentes et un risque de fuite élevé.

La température d'auto-allumage du propane est de 490°C comparativement à celle de l'huile diésel no 2 qui est de 220°C. La différence est suffisamment importante pour que, dans la majorité des conditions d'opération, le propane ne s'enflamme pas dans un moteur diésel à moins d'y avoir prévu un allumage additionnel.

2.2 Aspects techniques du système à double carburant

L'expression "double carburant" indique un des couples suivants:

- un gaz inflammable vaporisé dans le collecteur d'admission et allumé par un injecteur pilote de combustible diésel introduit par un injecteur standard.

- l'injection à travers un seul injecteur d'un carburant liquide non diésel et diésel, soit d'une façon continue ou par l'eau.

- un carburant liquide non diésel giclé à basse pression dans le collecteur d'admission et allumé par un injecteur pilote utilisant du diésel de bonne qualité injecté par l'injecteur standard.

- un carburant liquide non diésel et un carburant diésel pilote injectés directement dans la chambre de combustion par un même injecteur ou par deux injecteurs séparés.

Le système double carburant développé dans le présent projet sera décrit plus loin dans ce rapport.

2.3 Principes de base des injecteurs de carburant

L'efficacité des moteurs à injection dépend fortement des caractéristiques du jet pulvérisé dans la chambre de combustion. Le processus d'injection vise deux objectifs: il divise le carburant liquide dans une multitude de gouttelettes très fines afin d'augmenter la surface pour le transfert de chaleur et la combustion, et il distribue le carburant d'une façon plus complète dans la chambre de combustion afin d'effectuer un meilleur mélange air-carburant.

La façon la plus courante de produire des jets d'injection dans les moteurs diésels est d'opérer par injection à haute température. Le carburant, sous pression, passe à travers un ou plusieurs orifices et forme des jets instables. Les jets se désintègrent lorsqu'en quittant la buse, ils entrent en contact avec l'air de la chambre de combustion.

Buses d'injection

Les buses d'injection ont deux fonctions: premièrement, ils atomisent ou divisent le combustible en de fines gouttellettes pour promouvoir l'allumage et la combustion; deuxièmement, ils distributent le jet de carburant à travers la chambre avec ou sans l'assistance de turbulence d'air pour former un mélange inflammable. De plus, les buses des moteurs à multicylindres doivent assurer une distribution uniforme du carburant à chaque cylindre. Il y a différents modèles de buses d'injection selon les modèles de chambres de combustion.

2.4 Exigences d'un système d'injection à double carburant

L'objectif du présent projet est de déterminer les caractéristiques d'allumage d'un moteur diésel alimenté au propane avec une injection pilote de carburant diésel no 2, en utilisant un injecteur capable d'injecter les deux carburants dans une ouverture de culasse standard. Les exigences du design pour un tel système d'injection ont été établies en prenant en considération les caractéristiques du carburant, le type de moteur, l'utilisation du moteur et les dimensions de l'ouverture des injecteurs dans la culasse du moteur-test.

2.5 Design du système et fabrication

Les exigences de l'injection propane et de l'injection à l'huile à haute pression (maximum approximatif de 21 000 kPa) avec des systèmes de cadencement complètement indépendants et des ajustements volumétriques différents ont été rencontrées en montant en série deux injecteurs à simple pointeau, reliés par un couplage mécanique à angle de phase variable. L'entraînement s'effectue par un autre couplage mécanique à angle de phase variable.

Le propane a été maintenu à l'état liquide en contrôlant sa température et sa pression à l'intérieur de certaines limites critiques. Afin d'éviter les problèmes de cavitation, l'alimentation de propane et l'injecteur ont été refroidis par circulation d'eau. Une pression d'environ 4000 kPa a été maintenue à l'entrée de la pompe propane en utilisant une pompe de type "piston" équipée d'une soupape de sécurité qui permettait de recirculer le surplus de propane.

Les piètres qualités lubrifiantes du propane ont été prises en considération lors du design du système. Il a été nécessaire d'utiliser, pour l'amorçage, une pompe à diaphragme et d'installer un système de lubrification externe à huile pressurisée pour la pompe d'injection. Ces deux techniques existent pour des systèmes à essence à haute pression puisque l'essence est aussi un pauvre lubrifiant. Dans la sélection du design de l'injecteur à double carburant, les contraintes imposées par l'ouverture de l'injecteur du moteur, des pressions d'injection et la présence de deux jets d'injection représentent un défi de taille.

Le design finalement adopté est basé sur l'utilisation de deux buses installées sur un même corps avec l'amorçage et la terminaison de l'injection régularisée par des valves à pointeaux pour chaque carburant. Plusieurs injecteurs ont été fabriqués pour essai avec une orientation des buses d'arrosage différente. On obtenait les différents patrons d'arrosage en bouchant d'une façon sélective des trous d'arrosage dans les buses.

La fabrication et l'essai des injecteurs ont été effectués par IVI Inc. avec l'aide de fournisseurs spécialisés. Le système de pompage à double carburant a été dessiné et conçu par SWRI et envoyé à IVI pour le développement des injecteurs et les essais. Le système entier a ensuite été installé sur un moteur-test de UTME.

3.0 ESSAI DU MOTEUR A INJECTEUR A DOUBLE CARBURANT

3.1 Méthodologie des essais

Le programme d'essai du moteur a été effectué par UTME en utilisant un moteur monocylindre de laboratoire Waukesha CFR 48. Le programme avait comme objectifs:

- o de déterminer les performances du moteur lorsqu'il opère en mode "double carburant" (vapeur et propane injectés avec allumage pilote au diésel) comparativement à la performance utilisant de l'huile diésel no 2 seulement;

- o de déterminer des critères d'équipement pour un système à injection grandeur réelle capable de manipuler du propane liquide et de l'huile diésel no 2 (en utilisant le principe d'allumage pilote).

Des essais ont d'abord été effectués pour établir les critères de performance du moteur utilisant du carburant diésel no 2 à l'aide du moteur standard. Les essais de référence ont été effectués sur un dynamomètre à trois rapports de compression (19:1, 22:1 et 25:1) et à trois vitesses de moteur (1200, 1500 et 1800 RPM). Le couple du moteur, la consommation en carburant, l'opacité de la fumée évacuée, le niveau d'oxyde de carbone, les hydrocarbures et les émissions d'oxyde d'azote ont été calculés à partir des données recueillies.

Les mêmes essais ont été répétés dans la même gamme d'opération pour un moteur utilisant l'injecteur à double carburant tel que décrit ci-haut. Les essais à double carburant ont été effectués en utilisant deux façons d'alimenter le propane; la première, par vaporisation, dans laquelle le propane à température ambiante alimente le collecteur d'entrée où il est mélangé avec l'air qui pénètre dans la chambre à combustion; la deuxième, par injection liquide, dans laquelle le propane liquide est pompé à haute pression et injecté directement dans la pré-chambre du moteur en même temps que l'huile diésel pour l'injection pilote.

D'autres paramètres ont été modifiés et essayés durant les essais. En particulier, le cadencement de l'injection (absolu et relatif), la pression d'ouverture de la vanne d'injection et l'orientation du jet d'injection.

Suite aux essais, les résultats furent analysés et les calculs de performance établis. Les consommations utilisant l'injecteur à double carburant ont été utilisées pour calculer les économies possibles de carburant dans le cas d'une circulation intense.

3.2 Résultats

Les essais ont démontré clairement que du propane liquide peut être injecté dans un moteur diésel et que l'allumage peut s'effectuer en utilisant du carburant diésel comme injection pilote. Les performances de conversion énergétique sont comparables à celles obtenues avec du carburant diésel no 2. Que ce soit par vaporisation ou injection liquide de propane, une réduction importante des émissions de particules solides (fumée) et une réduction légère de Nox ont été constatées.

La réduction de la quantité de fumée était particulièrement évidente à haute puissance; ceci indique que la puissance du moteur propane/diésel pourrait être augmentée sans dépasser les limites permises pour l'opération avec carburant diésel.

L'opération du moteur utilisant l'injection liquide exigeait en moyenne 10% de carburant diésel pour une opération fiable et complète alors que l'utilisation du propane vaporisé demandait des quantités de carburant diésel de l'ordre de 15 à 25%. Il ressort de cette analyse qu'au coût actuel du carburant, il serait plus économique d'utiliser l'injection liquide que la vaporisation.

De plus, l'utilisation du propane liquide permettait une opération supérieure à l'utilisation du propane sous forme vapeur.

La consommation de carburant pour l'injection à double carburant et à l'huile diésel no 2 sont comparables (7.5 à 9 MJ/kWh.).

4.0 DISCUSSION

Les essais effectués ont démontré que le propane liquide peut être injecté directement dans un moteur diésel à l'aide d'injecteur de design conventionnel. Il a, de plus, été démontré que la performance est semblable à celle du système original.

La diminution de la quantité de particules solides émises a été remarquée à la fois avec le système propane vaporisé et le propane liquide. Ceci permet l'utilisation de plus petits moteurs qui opèrent à des puissances plus élevées qu'actuellement. Cette conséquence a certainement des implications intéressantes pour les moteurs diésels en service urbain.

Tous les essais ont été effectués dans des conditions d'opération continue et de cette façon, il a été possible de remplacer une grande fraction (75 à 85%) de carburant diésel par le système de vaporisation. Cependant, les contraintes pour un allumage fiable et un approvisionnement précis en mode vapeur dans des conditions de faible charge sont fort connues et n'ont pas été solutionnées. Nous croyons que l'injection par propane liquide permettrait de solutionner ce problème en utilisant des contrôles similaires à ceux des injecteurs à carburant diésel actuels.

Tous les essais furent effectués en utilisant un moteur Waukesha CFR. Un moteur à chambre de combustion ouverte créerait certainement des exigences plus difficiles pour un injecteur double mais l'étendue du problème ne peut être solutionné qu'en effectuant d'avantage d'essais.

Le travail de développement qui a été effectué a confirmé les problèmes normaux de manipulation de propane à basse pression. Tous les couplages, joints et surfaces à haute tolérance étaient susceptibles de fuites lorsqu'ils opéraient aux pressions requises pour les moteurs diésels.

Un système fermé est presqu'obligatoire. A cause de la faible propriété lubrifiante du propane, un système de lubrification de la pompe d'injection est nécessaire. Il sera aussi nécessaire de solutionner le problème d'usure des injecteurs. Il est cependant à noter que les solutions à ces problèmes sont déjà bien connues.

Les résultats du design, du développement et des essais ont démontré que le propane peut être injecté sous forme liquide dans un moteur diésel qui pourra alors opérer d'une façon efficace comme s'il opérait uniquement avec du carburant diésel.

Les principes développés dans le système d'injection double propane/diésel no 2 peuvent s'appliquer à d'autres combinaisons de combustibles comme diésel non normé no 2 ou méthanol (diésel no 2).

5.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

- La viabilité d'un système d'injection double carburant propane/diesel no 2 a été démontrée.
- Les performances d'un tel système se comparent favorablement avec les performances de base d'un système diésel.
- L'émission de particules solides a été radicalement réduite.
- Les essais et le développement dans une chambre ouverte devraient être effectués et devraient inclure des essais de durabilité.